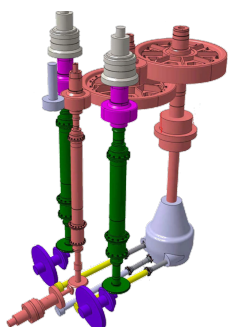
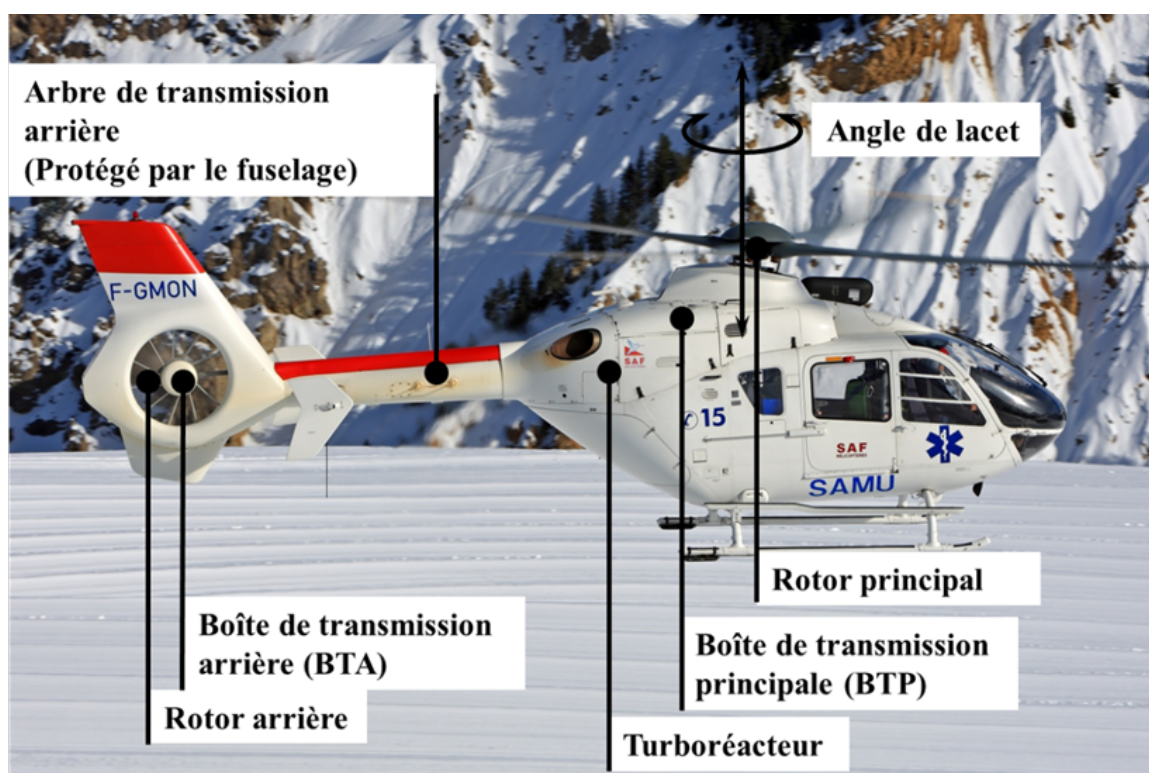


Colle 7

**Banc d'essai d'une BTP Hélicoptère***D'après concours CCP – TSI 2015.***Savoirs et compétences :**

□ –

Sur un hélicoptère la boîte de transmission principale (BTP) réalise la jonction entre les turboréacteurs et les arbres de transmission (rotor principal ou rotor arrière). Dans le but de réaliser des essais, la société Airbus Helicopters a réalisé un banc d'essai permettant (entre autre) de solliciter la BTP en imposant des vitesses ou des couples en entrée et en mesurant couples et vitesses en sortie de boîte.



Objectif Les objectifs de cet exercices sont de :

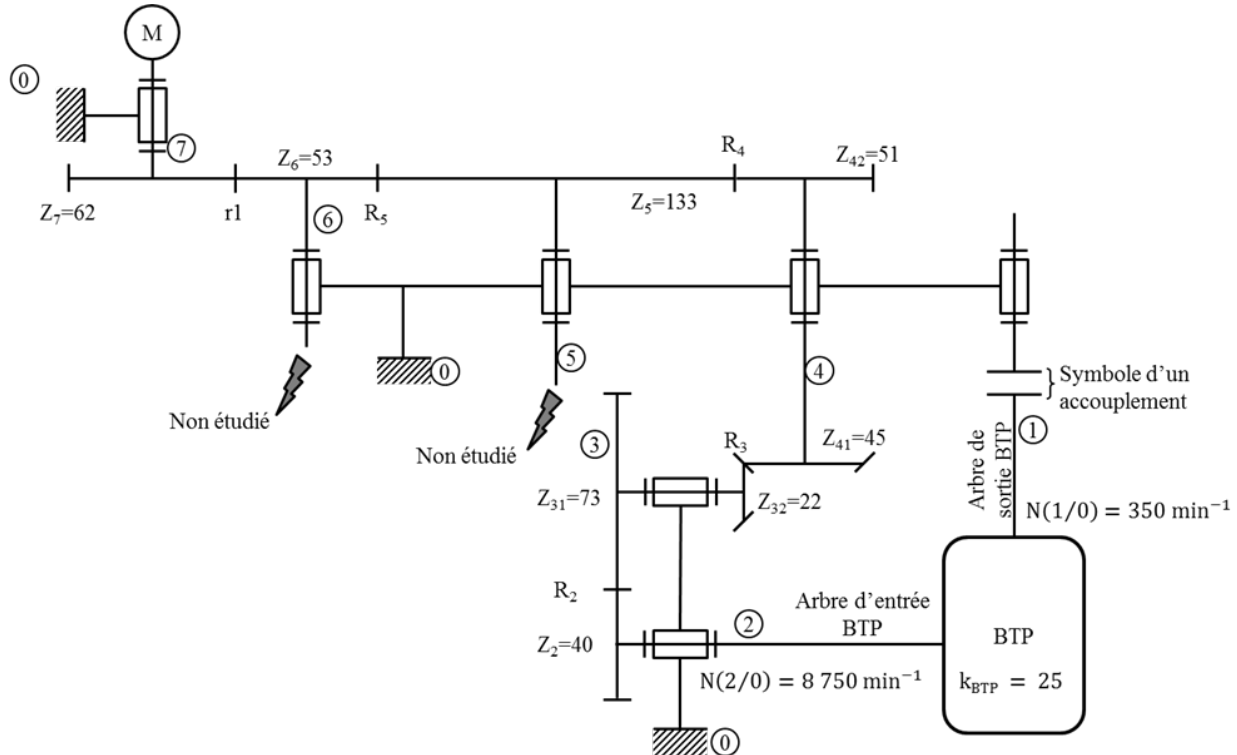
- déterminer les caractéristiques du moteur électrique se substituant au turboréacteur dans le banc d'essai ;
- étudier le montage électrique permettant de mesurer le couple en sortie de BTP.

Détermination des performances du moteur

On note :

- $k_{BTP} = 25$ le rapport de transmission de la BTP est défini par $\frac{N(1/0)}{N(2/0)} = \frac{1}{k_{BTP}}$;

- $\eta = 0,98$ le rendement de la BTP et de chacune des transmissions par engrenages en régime permanent ;
- $N(2/0) = 8750 \text{ tr.min}^{-1}$ la fréquence de rotation en entrée de BTP (fréquence de rotation des turbines entraînant la BTP) ;
- $N(1/0) = 350 \text{ tr.min}^{-1}$ la fréquence de rotation en sortie de BTP (la fréquence de rotation du rotor) ;
- $C_1 = 4100 \text{ Nm}$ le couple transmis par l'arbre de sortie de la BTP (ce couple étant nécessaire pour assurer la rotation des pales et le vol de l'hélicoptère).



Question 1 Déterminer le couple C_2 à fournir en entrée de la BTP.

Correction Le rendement η de la BTP étant donné, on a : $\eta = \frac{P_1}{P_2} = \frac{C_1 \omega(1/0)}{C_2 \omega(2/0)} = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{1}{k_{BTP}}$ soit : $C_2 = \frac{C_1}{k_{BTP} \cdot \eta}$.

Application numérique : $C_2 = \frac{4100}{25 \cdot 0,98} = 167 \text{ Nm}$.

Question 2 Calculer le rapport de transmission de l'arbre moteur jusqu'à l'entrée de la boîte de vitesses. On exprimera pour cela le rapport $k_T = \frac{N(2/0)}{N(7/0)}$. En déduire la fréquence de rotation du moteur électrique $N(7/0)$ en tr.min^{-1} .

Correction $k_T = \frac{N(2/0)}{N(7/0)} = \frac{Z_7 Z_6 Z_5 Z_4 Z_3 Z_1}{Z_6 Z_5 Z_4 Z_3 Z_2 Z_2} = \frac{Z_7 Z_4 Z_3 Z_1}{Z_4 Z_3 Z_2 Z_2}$.

Application numérique : $k_T = \frac{62 \cdot 45 \cdot 73}{51 \cdot 22 \cdot 40} = 4,54$.

On en déduit la fréquence de rotation du moteur électrique : $N(7/0) = \frac{N(2/0)}{k_T}$.

Application numérique : $N(7/0) = 8750/4,54 = 1930 \text{ tr/min}$.

Question 3 En faisant un bilan de puissance à chacun des étages de réduction et en tenant compte du rendement des transmissions par engrenages, calculer le couple C_7 que doit fournir le moteur électrique et la puissance mécanique utile.

Correction $\frac{P_2}{P_7} = \frac{C_2 \omega(2/0)}{C_7 \omega(7/0)} = \frac{(k_T C_2)}{C_7} = \eta^5$ soit : $C_7 = \frac{k_T \cdot C_2}{\eta^5}$.

Application numérique : $C_7 = \frac{4,54 \cdot 167}{0,98^5} = 839 \text{ N.m}$.

La puissance mécanique utile est de : $P_7 = C_7 \cdot \omega(7/0) = C_7 \cdot N(7/0) \cdot \frac{2\pi}{60}$.

Application numérique : $P_7 = 839 \cdot 1928 \frac{2\pi}{60} = 170 \text{ kW}$.

Analyse du capteur d'effort

Le banc d'essai est équipé de plusieurs capteurs de couple sur l'arbre moteur d'entraînement, sur les arbres d'entrées et aussi sur les arbres de sorties rotor principal et rotor arrière. Ces capteurs sont équipés de jauges de contrainte montées en pont de Wheatstone.

Question 4 En utilisant le montage en quart de pont figure suivante, donner l'expression de V_{mes} en fonction de R_a , R et E_{pw} . Indiquer les conditions d'équilibre du pont ($V_{mes} = 0$). La résistance R_a de jauge pour un couple de torsion de 1000 Nm est de 356Ω , donner la valeur numérique de V_{mes} ($E_{pw} = 10 \text{ V}$, $R = 350 \Omega$).

Correction

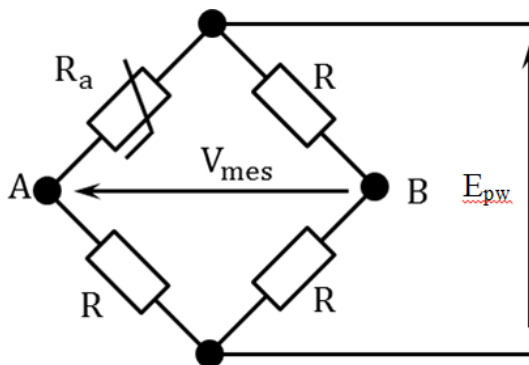
On utilise un pont diviseur de tension pour calculer U_A : $U_A = R/(R + R_a)E_{pw}$.

On procède de même pour calculer U_B : $U_B = R/(R + R) \cdot E_{pw} = E_{pw}/2$.

On en déduit : $V_{mes} = (U_A - U_B) = (R/(R + R_a) - 1/2) \cdot E_{pw}$.

Pour équilibrer le pont ($V_{mes} = 0$), il faut $R_a = R$.

Valeur numérique de V_{mes} pour $R_a = 356 \Omega$: $V_{mes} = (350/(350 + 356) - 1/2) \cdot 10 = -0,0425 \text{ V}$.

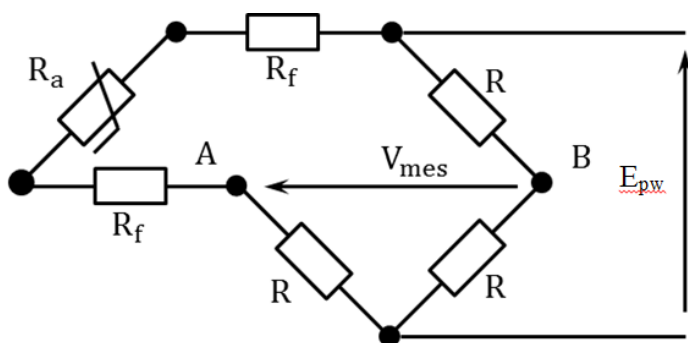


avec :

- R_a : résistance de la jauge de contrainte ;
- E_{pw} : tension d'alimentation du pont ;
- V_{mes} : tension de sortie du capteur.

Montage pont de Wheatstone en quart de pont

Ces jauges de contraintes sont raccordées aux cartes d'acquisitions grâce à des câbles blindés avec une âme en cuivre (de résistivité $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$) de section $S = 0,14 \text{ mm}^2$ et de longueur 50 m . Le schéma équivalent (montage pont de Wheatstone avec résistance des fils de liaison) est donné sur la figure suivante.



avec R_f : résistance des fils de liaison.

Montage pont de Wheatstone avec résistance des 2 fils de liaison

Question 5 Calculer la résistance d'un fil R_f et donner la nouvelle expression de V_{mes} . Refaire le calcul de V_{mes} en utilisant les mêmes données numériques. Calculer l'erreur de la mesure en %. Conclure sur l'erreur due aux câbles par rapport à la précision intrinsèque du capteur.

Correction

Résistance R_f d'un fil : $R_f = (\rho \cdot l)/S$.

Application numérique : $R_f = (1,72 \cdot (10)^{-8} \cdot 50)/(0,14 \cdot (10)^{-6}) = 6,14 \Omega$.

La nouvelle expression de V_{mes} s'écrit : $V_{mes} = (U_A - U_B) = R/(R + R_a + 2R_f)E_{pw} - R/(R + R) \cdot E_{pw} = (R/(R + R_a +$

$$2 \cdot R_f) - 1/2) \cdot E_{pw})$$

Valeur numérique de V_{mes} pour $R_a = 356 \Omega$: $V_{mes} = (350/(350 + 356 + 2 \cdot 6,14) - 1/2) \cdot 10 = -0,127 V$.

L'erreur de mesure est donc de : $\varepsilon_{mes} = ((-0,127 + 0,0425)/0,127) = 66\%$.

Cette erreur due aux câbles est bien supérieure à la précision intrinsèque du capteur.

Question 6 En utilisant le montage du pont de Wheatstone avec résistance des 3 fils de liaison démontrer que l'on retrouve l'équilibre du pont avec le montage 3 fils quand la jauge est au repos.

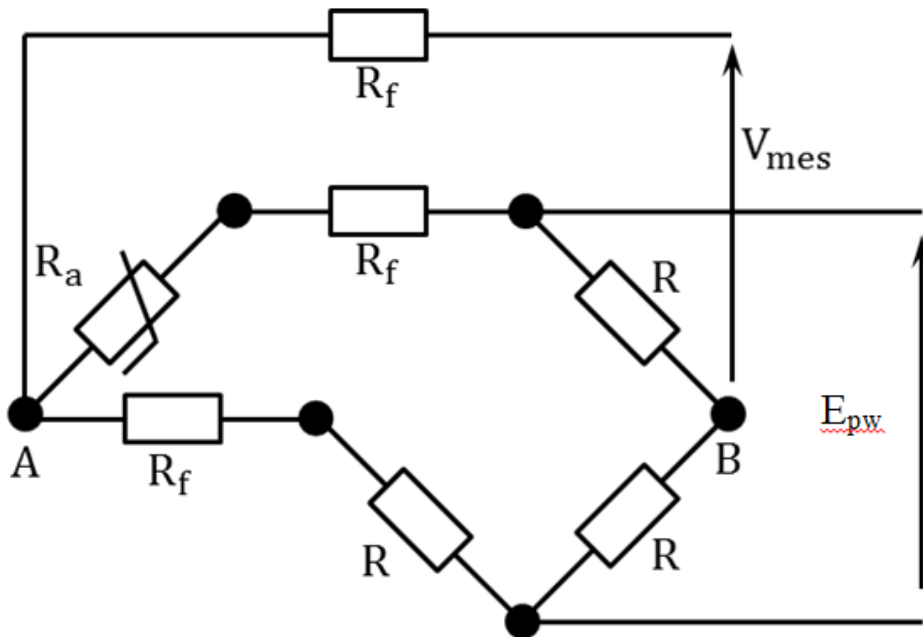
Correction

Avec un montage 3 fils (pas de courant dans la branche du haut) :

$$V_{mes} = (U_A - U_B) = (R + R_f)/(R + R_a + 2 \cdot R_f) \cdot E_{pw} - R/(R + R) \cdot E_{pw} = ((R + R_f)/(R + R_a + 2 \cdot R_f) - 1/2) \cdot E_{pw}$$

$$\text{Avec } R_a = R : V_{mes} = ((R + R_f)/(R + R + 2 \cdot R_f) - 1/2) \cdot E_{pw} = ((R + R_f)/(2 \cdot R + 2 \cdot R_f) - 1/2) \cdot E_{pw} = 0.$$

On retrouve bien l'équilibre du pont avec le montage 3 fils quand la jauge est au repos.



Montage pont de Wheatstone avec résistance des 3 fils de liaison